

Original document

Remote state measurement, e.g. of complex impedance temp., pressure or humidity sensor - analysing voltages across sensor and series circuit contg. sensor and other components and forming quotient or difference of stored complex amplitude and phase of frequency components

Publication number: DE4210164

Publication date: 1993-09-30

Inventor: KOLB HANS PROF DR (DE)

Applicant: KOLB HANS PROF DR (DE)

Classification:

- international: **G01D5/24; G01K7/00; G01R27/02; G01D5/12; G01K7/00; G01R27/02;**
(IPC1-7): G01R27/02

- European:

Application number: DE19924210164 19920325

Priority number(s): DE19924210164 19920325

[View INPADOC patent family](#)

[View list of citing documents](#)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE4210164

A sensor in the form of a complex impedance is placed in series with circuit elements of selected types. Pulse voltages are applied to the series circuit. The amplitude and phase of the intensity distribution of frequency components of the total voltage across the series circuit, and of the same components across the circuit elements, are measured and separately stored. The complex impedance of the sensor is derived from the quotient or difference of the stored complex frequency components. USE/ADVANTAGE - Eg for plate capacitor eg of vehicle seat, body work, passenger space, tank, acceleration sensor or strain gauge. Universally applicable and involves low circuit costs. Accuracy is independent of external parameters.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

Description of DE4210164

[Translate this text](#)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Fernmessen von Zuständen an einem abgelegenen Ort unter Verwendung mindestens eines an diesem Ort angeordneten, einen komplexen Widerstand aufweisenden Sensors und mit diesem in Reihe liegenden Schaltungselementen beliebiger Art mit Beaufschlagen dies

aus dem Sensor und den Schaltungselementen bestehenden Reihenschaltung mit einer mindestens eine Frequenzkomponente enthaltenden Spannung. Die Erfindung betrifft weiter eine Schaltungsanordnung zum Durchführen dieses Verfahrens. Unter einer eine Frequenzkomponente enthaltenden Spannung wird dabei eine Sinusspannung verstanden. Unter einer zwei Frequenzkomponenten enthaltenden Spannung wird damit eine Spannung verstanden, die sich aus zwei sinusförmigen Spannungen mit verschiedener Frequenz zusammensetzt.

Im Zuge einer immer stärker zunehmenden Automatisierung kommt der Fernmessung von Zuständen eine immer grössere Bedeutung zu. Unter Zuständen werden dabei physikalisch unmittelbar erfassbare Grössen wie zum Beispiel Druck, Temperatur, Feuchtigkeit usw., verstanden. Es kann sich aber auch um nur mittelbar erfassbare Zustände handeln, wie zum Beispiel das Vorhandensein von Personen oder Gegenständen in einem Raum oder an einer bestimmten Stelle. Zu den mittelbar erkennbaren Zuständen gehört zum Beispiel auch der Stand einer Flüssigkeit in einem Vorratsbehälter. Mittelbar erfassbar sind auch die Abläufe bei einem chemischen Verfahren oder einem Herstellungsverfahren. Zum Erkennen der Zustände verwendet man sogenannte Sensoren. Diese liegen in verschiedener Form vor. Es gibt in herkömmlicher Technik ausgebildete Sensoren mit diskret ausgebildeten beweglichen Teilen. Ebenso gibt es monolithisch integrierte Anordnungen, im weiteren Sinne also Halbleiter. Ebenso gibt es in mikromechanischer Technik ausgebildete Sensoren. Elektrisch betrachtet sind Sensoren einen komplexen Widerstand aufweisende passive Bauelemente. Der zu erfassende Zustand stellt sich als eine diesen komplexen Widerstand beeinflussende physikalische Grösse dar. Der komplexe Widerstand ändert sich Abhängigkeit von deren Betrag. Nach dem Stand der Technik ist dieser komplexe Widerstand häufig als Zweig einer Brücke ausgebildet und wird dann in der Brückenschaltung gemessen. Zum Erzielen einer hohen Messgenauigkeit muss die Verstärkung der Spannung im Null-Zweig der Brücke möglichst konstant und von äusseren Parametern, wie Temperatur, Feuchtigkeit usw., unabhängig gehalten werden. Bei einem anderen Messverfahren wird eine zweite Spannung gezielt überlagert. Aber auch bei diesem Verfahren hängt die Genauigkeit der Messung von der Konstanz der äusseren Parameter ab.

Wie ausgeführt wurde, weisen die Sensoren einen komplexen Widerstand auf. Dies bedeutet, dass ein Sensor

- a) einen ohmschen Widerstand,
 - b) eine Kapazität,
 - c) eine Induktivität oder eine irgendwie geartete Mischung aus diesen drei elektrischen Grössen aufweist.
- Der sich aus diesen Grössen ergebende komplexe Widerstand ändert sich gleich- oder gegensinnig mit dem messenden Zustand, zum Beispiel einer Temperatur.

In der Praxis ändern sich bei einer Änderung des zu erfassenden Zustandes nicht nur der ohmsche Widerstand oder die Kapazität oder die Induktivität des komplexen Widerstandes, sondern mindestens zwei dieser Grössen. Die Änderung dieser Grössen ist dabei mathematisch erfassbare Funktion der Änderung des zu erfassenden Zustandes. Aus den gemessenen charakteristischen Werten des komplexen Widerstandes, das heisst seines ohmschen Widerstandes, seiner Kapazität und/oder Induktivität, insbesondere aber über die Frequenzabhängigkeit dieses komplexen Widerstandes lässt sich auf den zu erfassenden physikalischen Zustand schliessen und dieser errechnen. Voraussetzung für diese Rechnung ist somit die genaue Messung des komplexen Widerstandes, das heisst seines ohmschen, kapazitiven oder induktiven Anteils in Abhängigkeit von der Frequenz.

Die elektrische Ersatzschaltung eines Sensors enthält somit zwei Komponenten. Diese Ersatzschaltung lässt sich als Parallelschaltung eines ohmschen Widerstandes mit einer Kapazität oder einer Induktivität angeben.

Von dieser Erkenntnis ausgehend, liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Fernmessen von Zuständen unter Verwendung der genannten Sensoren so auszubilden, dass es sich universal einsetzen lässt, einen möglichst geringen Schaltungsaufwand erfordert und in seiner Genauigkeit von äusseren Parametern unabhängig ist. Gleichzeitig soll die gesamte mit einem Sensor erzielbare Information ohne Einschränkung zugänglich sein und einer Auswertung zugeführt werden können.

Die erfindungsgemässe Lösung für diese Aufgabe liegt bei einem Verfahren der eingangs genannten Gattung darin, dass die Intensitätsverteilung von Frequenzkomponenten der Gesamtspannung an der Reihenschaltung aus Sensor und Schaltungselementen und die Intensitätsverteilung der gleichen Frequenzkomponenten der Teilspannung an den Schaltungselementen nach Betrag und Phase ermittelt und beide Intensitätsverteilungen der Frequenzkomponenten und Phasen getrennt abgespeichert werden, der Quotient oder die Differenz der getrennt abgespeicherten komplexen Frequenzkomponenten (Beträge und Phasen) gebildet hieraus der komplexe Widerstand des Sensors bei den verschiedenen beteiligten Frequenzen errechnet wird.

Zweckmässige Ausgestaltungen dieses Verfahrens und Schaltungsanordnungen zum Durchführen dieses Verfahrens ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Vorteile des erfindungsgemässen Verfahrens sind:

- Die Messung ist unabhängig von jeder gewählten Verstärkung.
- Die Messung ist unabhängig von einem Gleichspannungsanteil.
- Die Gesamtspannung kann mit niedrigen Anregungsfrequenzen gebildet werden. Mit Hilfe von "Schwingungspaketen" (bursts) lassen sich aus einer Grundwelle mit niedriger Frequenz Spannungen mit hoher Frequenz bilden.
- Die Messung der Frequenzabhängigkeit der einzelnen Elemente aus der Sensor-Ersatzschaltung ist möglich.
- Der maximal mögliche Informationsgehalt aus der Sensormessung ist auf diese Weise abrufbar.
- Der Schaltungsaufwand zur Durchführung dieses Verfahrens ist sehr gering.

Im folgenden wird die Erfindung unter Bezug auf schaubildliche Darstellungen weiter erläutert. In den Zeichnungen ist:

Fig. 1 die Darstellung einer die Messspannung bildenden Impulsfolge aus durch Pausen voneinander getrennten Rechteckimpulsen,

Fig. 2 die Darstellung einer Impulsfolge aus durch Pausen voneinander getrennten Signalkpaketen, die ihrerseits aus einzelnen Rechteckimpulsen bestehen,

Fig. 3 eine Impulsfolge aus durch Pausen voneinander getrennten Dreieckimpulsen,

Fig. 4 ein Ersatzschaltbild eines komplexen Widerstandes mit einer kapazitiven Komponente,

Fig. 5 ein Ersatzschaltbild eines komplexen Widerstandes mit einer induktiven Komponente,

Fig. 6 ein Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einem Sensor und einem seriellen Vorwiderstand, wobei der Sensor einen Tiefpass bildet,

Fig. 7 ein Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einem Sensor und einem seriellen Vorwiderstand, wobei der Sensor einen Hochpass bildet, und

Fig. 8 die Darstellung einer Dämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz.

Die an die Reihenschaltung aus dem Sensor und den Schaltungselementen angelegte Messspannung ist im einfachsten Fall eine einfache sinusförmige Spannung, das heisst eine Spannung mit einer Frequenzkomponente. In der Praxis wird man die Reihenschaltung jedoch mit einer mehrere Frequenzkomponenten enthaltenden Spannung beaufschlagen. Im allgemeinen ist dies ein periodisch auftretendes elektrisches Signal. Dieses sollte mindestens zwei Frequenzkomponenten enthalten. In der Praxis wird eine Impulsfolge an die Reihenschaltung anlegen. Diese Impulsfolge kann sein: ein kontinuierliches Rechtecksignal, ein kontinuierliches Dreiecksignal, ein kontinuierliches trapezförmiges Signal oder ein kontinuierliches Signal nicht rein sinusförmigen Verlaufs.

Beispiele für solche Signale werden in den Fig. 1 bis 3 gezeigt. Ebenso kann die Reihenschaltung mit durch Pausen voneinander getrennten Signalen der vorstehend genannten Art oder auch mit durch Pausen getrennten Paketen von Signalen der vorstehend genannten Art beaufschlagt werden. Im Idealfall werde Deltaimpulse verwandt. Dies sind Impulse, die in unendlich kurzer Zeit von der Spannung Null bis zu einem Maximalwert ansteigen und in ebenfalls unendlich kurzer Zeit wieder auf Null abfallen. Die Erzeugung von Deltaimpulsen erfordert allerdings einen hohen Schaltungsaufwand. Bei sämtlichen Impulsfolgen spielt es beim erfindungsgemässen Verfahren keine Rolle, ob sie den Mittelwert Null oder einen davon abweichenden Mittelwert aufweisen.

Wie ausgeführt, kann der komplexe Widerstand eine ohmsche mit einer kapazitiven oder eine ohmsche einer induktiven Komponente aufweisen. Die Fig. 4 und 5 zeigen die Ersatzschaltbilder. Fig. 4 zeigt einen ohmschen Widerstand und eine Kapazität. Fig. 5 zeigt eine Induktivität und einen ohmschen Widerstand.

Die einzelnen Komponenten R, C und L können sich dabei völlig beliebig und unabhängig voneinander ändern.

Der Sensor und sein komplexer Widerstand lassen sich auch algebraisch beschreiben. Hierbei stellt sich der komplexe Widerstand wie folgt dar:

$Z = \text{Realteil} + j \text{Imaginärteil}$ oder in der Form $Z = |Z| \angle \phi$ (Betrag, Phasenwinkel), das heisst explizit $Z = |Z| e^{j\phi}$.

Der Real- und Imaginärteil beziehungsweise der Betrag und der Phasenwinkel in Abhängigkeit von der Frequenz sind beide eine Funktion des zu erfassenden Zustandes.

Die ohmsche und die kapazitive oder induktive Komponente des Sensors oder dessen Real- und Imaginärteil müssen damit für verschiedene Frequenzen gleichzeitig oder kurz nacheinander erhalten und ausgewertet werden, um die vom Sensor gegebene Information vollständig zu nutzen.

Nach dem erfindungsgemässen Verfahren wird die mindestens eine Frequenzkomponente enthaltende Spannung auf die Reihenschaltung aus dem Sensor und zusätzlichen, im Stromkreis enthaltenen Schaltungselementen gegeben. Sie erzeugt einen Strom, der nach Betrag und Phase vom komplexen Widerstand des Sensors, vom Widerstand der zusätzlichen Schaltungselemente, von der Spannung des Generators und von der Frequenz abhängt.

Der durch die verschiedenen Schaltungselemente des Stromkreises fliessende Strom erzeugt an diesen jeweils einen Spannungsabfall, eine sogenannte Teilspannung. Dies gilt sinngemäss auch für eine Zusammenschaltung mehrerer Schaltungselemente.

Der zeitliche Verlauf der Gesamtspannung, das heisst der vom Generator abgegebenen Spannung, und mindestens der zeitliche Verlauf einer Teilspannung im Stromkreis werden gemessen und getrennt abgespeichert.

Ausgewählt wird dabei möglichst eine Teilspannung über einem Schaltungselement im Stromkreis, dessen Impedanz keine Frequenzabhängigkeit aufweist. Unter Hinzunahme der Gesamtspannung müsste Berechnung des komplexen Widerstandes des Sensorelementes möglich sein, wenn die Gesamtspannung nur eine einzige Frequenzkomponente enthielte.

Aus dem zeitlichen Verlauf der Gesamtspannung werden über eine Fourieranalyse deren Frequenzkomponenten und die zugehörigen Phasen, vorzugsweise in komplexer Form, ermittelt und wiederum abgespeichert.

Für die zuvor gemessene Teilspannung wird in gleicher Weise verfahren.

Es ergeben sich so jeweils einander zugeordnete Wertepaare bei gleicher Frequenz.

Die Zahl der im Zeitbereich aufgenommenen Messwerte beider Spannungsverläufe und ihr zeitlicher Abstand richten sich nach den Frequenzen, die in der Gesamtspannung vorhanden sind und für die der komplexe Widerstand des Sensors bestimmt werden soll.

Aus dem Quotienten beziehungsweise der Differenz zugeordneter Wertepaare wird dann der komplexe Widerstand des Sensors bei der entsprechenden Frequenz errechnet. Der Verlauf dieses Widerstandes über der Frequenz ändert sich in Abhängigkeit des zu messenden Zustandes. Eine Änderung des Frequenzverlaufs des komplexen Widerstandes bedeutet daher, dass sich auch der zugrundeliegende Zustand gegenüber seinem Ausgangszustand geändert haben muss.

Zur Vereinfachung der Beschreibung sollen die mit dem komplexen Widerstand des Sensors in Reihe liegenden Schaltungselemente Vorwiderstand angesehen werden. In Abhängigkeit von der Lage des komplexen Widerstandes in dieser Reihenschaltung bildet dieser letztere einen Tief- oder einen Hochpaß. Die zugehörigen Ersatzschaltbilder sind in den Fig. 6 und 7 dargestellt.

Es sei nun einmal angenommen, dass der Generator eine Spannung mit dem Frequenzspektrum F_1 abgibt. Dieses Frequenzspektrum F_1 wird vom komplexen Widerstand des Sensors verändert. Am folgenden Beispiel sei dies erläutert.

Gibt der Generator ein Signal mit dem Frequenzspektrum F_1 ab, erscheint am Ausgang über dem Sensor ein Signal mit verändertem Frequenzspektrum F_2 , sofern die Komponenten in der Schaltung gemäss den Fig. 6 oder 7 einigermaßen günstig gewählt werden. Aus den Änderungen des Spektrums F_2 gegenüber dem Spektrum F_1 können die Grössen der elektrischen Ersatzschaltung des Sensors und deren Frequenzabhängigkeit gemäss den Fig. 4 und 5 eindeutig bestimmt werden. Da auf die Beziehungen zwischen den einzelnen Frequenzkomponenten aus F_1 und F_2 zurückgegriffen wird, lässt sich das Spektrum F_2 unabhängig von jeder Verstärkung bewerten.

Sollen die Komponenten eines komplexen Widerstandes eines Sensors nach diesem Verfahren bestimmt werden, wird als erstes das Frequenzspektrum der Gesamtspannung nach Betrag und Phase bestimmt. Bei günstig gewählten zeitlichen Voraussetzungen kann dies on-line mit Hilfe eines Signalprozessors oder unter weniger kritischen zeitlichen Bedingungen sogar mit einem Mikrorechner nach dem Verfahren der FFT (Fast Fourier Transformation) erfolgen.

Wird der Sensor dann weiterhin mit unveränderter Gesamtspannung betrieben, wird deren über dem Vorwiderstand liegende Teil wieder nach Betrag und Phase bestimmt. Aus den sich ergebenden Unterschieden in den einander entsprechenden Frequenzkomponenten nach Betrag und Phase lassen sich die aktuellen Komponenten der elektrischen Ersatzschaltung des Sensors entweder über eine Berechnung oder aber über Zuordnungstabellen ermitteln. Diesen Komponenten kann dann eindeutig der physikalische Messwert der erfassten Grösse zugeordnet werden.

Hierzu müssen bei stationärer, am Eingang der Schaltung anliegender Gesamtspannung während dieser Erregung die Frequenzkomponenten der Spannung am Vorwiderstand ermittelt und für eine bestimmte Zeit gespeichert werden, um später einen Vergleich durchführen und Änderungen feststellen zu können. Gleiches gilt für die Phasenwinkel der Frequenzkomponenten. Alternativ kann auch der zeitliche Verlauf der Spannung am Vorwiderstand gespeichert werden. Zu einem späteren Zeitpunkt werden dann die Frequenzkomponenten der beteiligten Spannungen ermittelt.

Das für die Berechnung der Komponenten des Sensors angewandte Verfahren wird in der folgenden alternativen Betrachtung besonders anschaulich:

Die Gesamtspannung oder das Ansteuersignal für den Sensor enthält genau definierte Spannungskomponenten verschiedener Frequenzen. Die Komponenten der verschiedenen Frequenzen beeinflussen sich nicht gegenseitig. Das heisst, bei der Betrachtung der Ergebnisse kann man so tun, als würden die Spannungen verschiedener Frequenzen und Phasenwinkel einzeln nacheinander an den Hoch- bzw. Tiefpass mit seriell ohmschen Widerstand angelegt.

Jede dieser Spannungen wird abhängig von ihrer Frequenz und insgesamt abhängig von der Grenzfrequenz des Passes eine andere Dämpfung erfahren. Die jeweils gültige Dämpfung ergibt sich dabei aus dem Übertragungsverhalten des einfachen Hoch- beziehungsweise Tiefpasses erster Ordnung. Dies ist in Fig. 1 dargestellt. Aus den Dämpfungsverhältnissen von angelegter Spannung zu übertragener Spannung einer Frequenz lässt sich ohne weiteres auf die Komponenten der Schaltung, in diesem Fall also auf die des Sensors, zurückrechnen.

Eine ganz ähnliche Betrachtung gilt auch für die Phasenwinkel, unter denen die Spannungskomponenten auftreten. Auch hier tritt zwischen dem Phasenwinkel der eingangs- und dem der entsprechenden ausgangsseitigen Spannungskomponente ein Phasenunterschied auf. Auch dieser wird zur Berechnung herangezogen, um die volle Information aus dem System herauszuziehen.

Jede Frequenzkomponente der Spannung am Ausgang des Sensors lässt die vollständige Bestimmung der Komponenten seiner elektrischen Ersatzschaltung zu, wenn auch der Phasenwinkel und die anregende Spannung dieser Frequenzkomponente herangezogen werden. Da nun die Elemente der Ersatzschaltung des Sensors bei je Frequenzkomponente der anregenden Spannung bestimmt werden können, lässt sich auf diese Weise die Frequenzabhängigkeit der Elemente der Sensor-Ersatzschaltung bestimmen. Der Frequenzbereich, in dem diese Bestimmung möglich ist, ergibt sich im wesentlichen aus den Frequenzkomponenten, aus denen sich die anregende Spannung zusammensetzt. Diese sollte also entsprechend den Erfordernissen gezielt gewählt werden.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

Claims of **DE4210164**

Translate this text

1. Verfahren zum Fernmessen von Zuständen an einem abgelegenen Ort unter Verwendung mindestens

eines an diesem Ort angeordneten Sensors in Form eines komplexen Widerstandes und mit diesem in Reihe liegenden Schaltungselementen beliebiger Art m Beaufschlagen dieser aus dem Sensor und den Schaltungselementen bestehenden Reihenschaltung mit einer mindestens eine Frequenzkomponente enthaltenden Spannung, dadurch gekennzeichnet, dass die Intensitätsverteilung von Frequenzkomponenten der Gesamtspannung an der Reihenschaltung aus Sensor und Schaltungselementen und die Intensitätsverteilung der gleichen Frequenzkomponenten der Teilspannung an den Schaltungselementen nach Betrag und Phase ermittelt und beide Intensitätsverteilungen der Frequenzkomponenten und Phasen getrennt abgespeichert werden, der Quotient oder die Differenz der getrennt abgespeicherten komplexer Frequenzkomponenten (Beträge und Phasen) gebildet und hieraus der komplexe Widerstand des Sensor bei den verschiedenen beteiligten Frequenzen errechnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Reihenschaltung aus Sensor und Schaltungselementen in zeitlicher Aufeinanderfolge mit verschiedenen Frequenzen beaufschlagt und sei Frequenzabhängigkeit aus den abgespeicherten Werten errechnet wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Intensitäts- und Phasenfunktion der abgespeicherten Frequenzkomponenten über der Frequenz in ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge nochmals über FFT (Fast Fourier Transformation) frequenz- und phasenbewertet werden und aus den dabei entstehenden Frequenzen und Phasen, vorzugsweise aus den sehr tiefen Frequenzen, Änderung des komplexen Widerstands errechnet wird.

4. Schaltungsanordnung zum Durchführen des Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor ein Plattenkondensator mit einem mit einer dielektrischen Flüssigkeit gefülltes Gehäuse ist.

5. Schaltungsanordnung zum Durchführen des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor durch an oder in dem Sitz eines Kraftfahrzeuges angeordnete und einer Kondensator bildende leitende Elemente gebildet wird.

6. Schaltungsanordnung zum Durchführen des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor ein Beschleunigungsgeber ist.

7. Schaltungsanordnung zum Durchführen des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor eine Anordnung aus Dehnungsmessstreifen umfasst.

8. Schaltungsanordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Kondensator mit einer gemeinsamen mittleren Elektrode als Differenzkondensator ausgebildet ist.

9. Schaltungsanordnung zum Durchführen des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor durch ein oder mehrere an der Innenwand des Fahrgastraumes eines Kraftfahrzeuges angeordnete und einen Kondensator bildende leitende Elemente gebildet wird, wobei der Fahrgastraum das Dielektrikum darstellt.

10. Schaltungsanordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass Teile der Karosserie und/oder der Sitze des Kraftfahrzeuges ganz oder teilweise den Kondensator bilden.

11. Schaltungsanordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass Kapazität und Verlustwiderstand des Plattenkondensators der Beschleunigung des ihn umgebenden Gehäuses abhängig sind.

12. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Differenzkondensator ein

luftdichtes Gehäuse aufweis und die gemeinsame mittlere Elektrode auf ihrer einen Seite dem statischer Druck einer Flüssigkeitssäule und auf ihrer anderen S der Atmosphäre ausgesetzt ist.

13. Schaltungsanordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Elektrode auf ih einen Seite dem statischen Druck am Boden eines Kraftfahrzeugtanks ausgesetzt ist.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 42 10 164 A 1**

⑤① Int. Cl.⁵:
G 01 R 27/02

②① Aktenzeichen: P 42 10 164.6
②② Anmeldetag: 25. 3. 92
②③ Offenlegungstag: 30. 9. 93

DE 42 10 164 A 1

⑦① Anmelder:
Kolb, Hans, Prof.Dr., 5270 Gummersbach, DE

⑦④ Vertreter:
Berkenfeld, H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 50735 Köln

⑦② Erfinder:
gleich Anmelder

⑤④ Verfahren und Schaltungsanordnung zum Fernmessen von Zuständen

⑤⑦ Es handelt sich um das Fernmessen von physikalisch erfaßbaren Größen, wie Druck, Temperatur, Feuchtigkeit usw. Hierzu werden als Halbleiter ausgebildete Sensoren verwandt. Diese sind einen komplexen Widerstand aufweisende passive Bauelemente. Sie werden an dem zu überwachenden Ort angeordnet, mit elektrischen Schaltungselementen in Reihe geschaltet und mit einer mindestens eine Frequenzkomponente enthaltenden Spannung beaufschlagt. Nach Maßgabe der zu überwachenden Größe ändert der Sensor seinen Widerstand, seine Kapazität und/oder seine Induktivität. Dies ändert die Intensitätsverteilung der Frequenzen der ihm zugeführten Spannung. Diese Intensitätsverteilung wird im Ruhe- und im Arbeitszustand ermittelt. Beide Verteilungen werden verglichen. Hieraus kann der komplexe Widerstand des Sensors errechnet und damit auf die Veränderung der zu überwachenden Größe geschlossen werden.

DE 42 10 164 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Fernmessen von Zuständen an einem abgelegenen Ort unter Verwendung mindestens eines an diesem Ort angeordneten, einen komplexen Widerstand aufweisenden Sensors und mit diesem in Reihe liegenden Schaltungselementen beliebiger Art mit Beaufschlagen dieser aus dem Sensor und den Schaltungselementen bestehenden Reihenschaltung mit einer mindestens eine Frequenzkomponente enthaltenden Spannung. Die Erfindung betrifft weiter eine Schaltungsanordnung zum Durchführen dieses Verfahrens. Unter einer Frequenzkomponente enthaltenden Spannung wird dabei eine Sinusspannung verstanden. Unter einer zwei Frequenzkomponenten enthaltenden Spannung wird damit eine Spannung verstanden, die sich aus zwei sinusförmigen Spannungen mit verschiedener Frequenz zusammensetzt.

Im Zuge einer immer stärker zunehmenden Automatisierung kommt der Fernmessung von Zuständen eine immer größere Bedeutung zu. Unter Zuständen werden dabei physikalisch unmittelbar erfassbare Größen, wie zum Beispiel Druck, Temperatur, Feuchtigkeit usw., verstanden. Es kann sich aber auch um nur mittelbar erfassbare Zustände handeln, wie zum Beispiel das Vorhandensein von Personen oder Gegenständen in einem Raum oder an einer bestimmten Stelle. Zu den mittelbar erkennbaren Zuständen gehört zum Beispiel auch der Stand einer Flüssigkeit in einem Vorratsbehälter. Mittelbar erfassbar sind auch die Abläufe bei einem chemischen Verfahren oder einem Herstellungsverfahren. Zum Erkennen der Zustände verwendet man sogenannte Sensoren. Diese liegen in verschiedener Form vor. Es gibt in herkömmlicher Technik ausgebildete Sensoren mit diskret ausgebildeten beweglichen Teilen. Ebenso gibt es monolithisch integrierte Anordnungen, im weiteren Sinne also Halbleiter. Ebenso gibt es in mikromechanischer Technik ausgebildete Sensoren. Elektrisch betrachtet sind Sensoren einen komplexen Widerstand aufweisende passive Bauelemente. Der zu erfassende Zustand stellt sich als eine diesen komplexen Widerstand beeinflussende physikalische Größe dar. Der komplexe Widerstand ändert sich in Abhängigkeit von deren Betrag. Nach dem Stand der Technik ist dieser komplexe Widerstand häufig als Zweig einer Brücke ausgebildet und wird dann in der Brückenschaltung gemessen. Zum Erzielen einer hohen Meßgenauigkeit muß die Verstärkung der Spannung im Null-Zweig der Brücke möglichst konstant und von äußeren Parametern, wie Temperatur, Feuchtigkeit usw., unabhängig gehalten werden. Bei einem anderen Meßverfahren wird eine zweite Spannung gezielt überlagert. Aber auch bei diesem Verfahren hängt die Genauigkeit der Messung von der Konstanz der äußeren Parameter ab.

Wie ausgeführt wurde, weisen die Sensoren einen komplexen Widerstand auf. Dies bedeutet, daß ein Sensor

- a) einen ohmschen Widerstand,
- b) eine Kapazität,
- c) eine Induktivität oder eine irgendwie geartete Mischung aus diesen drei elektrischen Größen aufweist. Der sich aus diesen Größen ergebende komplexe Widerstand ändert sich gleich- oder gegensinnig mit dem zu messenden Zustand, zum Beispiel einer Temperatur.

In der Praxis ändern sich bei einer Änderung des zu

erfassenden Zustandes nicht nur der ohmsche Widerstand oder die Kapazität oder die Induktivität des komplexen Widerstandes, sondern mindestens zwei dieser Größen. Die Änderung dieser Größen ist dabei eine mathematisch erfassbare Funktion der Änderung des zu erfassenden Zustandes. Aus den gemessenen charakteristischen Werten des komplexen Widerstandes, das heißt seines ohmschen Widerstandes, seiner Kapazität und/oder Induktivität, insbesondere aber über die Frequenzabhängigkeit dieses komplexen Widerstandes läßt sich auf den zu erfassenden physikalischen Zustand schließen und dieser errechnen. Voraussetzung für diese Rechnung ist somit die genaue Messung des komplexen Widerstandes, das heißt seines ohmschen, kapazitiven oder induktiven Anteils in Abhängigkeit von der Frequenz.

Die elektrische Ersatzschaltung eines Sensors enthält somit zwei Komponenten. Diese Ersatzschaltung läßt sich als Parallelschaltung eines ohmschen Widerstandes mit einer Kapazität oder einer Induktivität angeben.

Von dieser Erkenntnis ausgehend, liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Fernmessen von Zuständen unter Verwendung der genannten Sensoren so auszubilden, daß es sich universal einsetzen läßt, einen möglichst geringen Schaltungsaufwand erfordert und in seiner Genauigkeit von äußeren Parametern unabhängig ist. Gleichzeitig soll die gesamte mit einem Sensor erzielbare Information ohne Einschränkung zugänglich sein und einer Auswertung zugeführt werden können.

Die erfindungsgemäße Lösung für diese Aufgabe liegt bei einem Verfahren der eingangs genannten Gattung darin, daß die Intensitätsverteilung von Frequenzkomponenten der Gesamtspannung an der Reihenschaltung aus Sensor und Schaltungselementen und die Intensitätsverteilung der gleichen Frequenzkomponenten der Teilspannung an den Schaltungselementen nach Betrag und Phase ermittelt und beide Intensitätsverteilungen der Frequenzkomponenten und Phasen getrennt abgespeichert werden, der Quotient oder die Differenz der getrennt abgespeicherten komplexen Frequenzkomponenten (Beträge und Phasen) gebildet und hieraus der komplexe Widerstand des Sensors bei den verschiedenen beteiligten Frequenzen errechnet wird.

Zweckmäßige Ausgestaltungen dieses Verfahrens und Schaltungsanordnungen zum Durchführen dieses Verfahrens ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens sind:

- Die Messung ist unabhängig von jeder gewählten Verstärkung.
- Die Messung ist unabhängig von einem Gleichspannungsanteil.
- Die Gesamtspannung kann mit niedrigen Anregungsfrequenzen gebildet werden. Mit Hilfe von "Schwingungspaketen" (bursts) lassen aus einer Grundwelle mit niedriger Frequenz Spannungen mit hoher Frequenz bilden.
- Die Messung der Frequenzabhängigkeit der einzelnen Elemente aus der Sensor-Ersatzschaltung ist möglich.
- Der maximal mögliche Informationsgehalt aus der Sensormessung ist auf diese Weise abrufbar.
- Der Schaltungsaufwand zur Durchführung dieses Verfahrens ist sehr gering.

Im folgenden wird die Erfindung unter Bezug auf schaubildliche Darstellungen weiter erläutert. In den

Zeichnungen ist:

Fig. 1 die Darstellung einer die Meßspannung bildenden Impulsfolge aus durch Pausen voneinander getrennten Rechteckimpulsen,

Fig. 2 die Darstellung einer Impulsfolge aus durch Pausen voneinander getrennten Signalpaketen, die ihrerseits aus einzelnen Rechteckimpulsen bestehen,

Fig. 3 eine Impulsfolge aus durch Pausen voneinander getrennten Dreieckimpulsen,

Fig. 4 ein Ersatzschaltbild eines komplexen Widerstandes mit einer kapazitiven Komponente,

Fig. 5 ein Ersatzschaltbild eines komplexen Widerstandes mit einer induktiven Komponente,

Fig. 6 ein Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einem Sensor und einem seriellen Vorwiderstand, wobei der Sensor einen Tiefpaß bildet,

Fig. 7 ein Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einem Sensor und einem seriellen Vorwiderstand, wobei der Sensor einen Hochpaß bildet, und

Fig. 8 die Darstellung einer Dämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz.

Die an die Reihenschaltung aus dem Sensor und den Schaltungselementen angelegte Meßspannung ist im einfachsten Fall eine einfache sinusförmige Spannung, das heißt eine Spannung mit einer Frequenzkomponente. In der Praxis wird man die Reihenschaltung jedoch mit einer mehrere Frequenzkomponenten enthaltenden Spannung beaufschlagen. Im allgemeinen ist dies ein periodisch auftretendes elektrisches Signal. Dieses sollte mindestens zwei Frequenzkomponenten enthalten. In der Praxis wird man eine Impulsfolge an die Reihenschaltung anlegen. Diese Impulsfolge kann sein:

ein kontinuierliches Rechtecksignal,
ein kontinuierliches Dreiecksignal,
ein kontinuierliches trapezförmiges Signal oder
ein kontinuierliches Signal nicht rein sinusförmigen Verlaufs.

Beispiele für solche Signale werden in den Fig. 1 bis 3 gezeigt. Ebenso kann die Reihenschaltung mit durch Pausen voneinander getrennten Signalen der vorstehend genannten Art oder auch mit durch Pausen getrennten Paketen von Signalen der vorstehend genannten Art beaufschlagt werden. Im Idealfall werden Deltaimpulse verwandt. Dies sind Impulse, die in unendlich kurzer Zeit von der Spannung Null bis zu einem Maximalwert ansteigen und in ebenfalls unendlich kurzer Zeit wieder auf Null abfallen. Die Erzeugung von Deltaimpulsen erfordert allerdings einen hohen Schaltungsaufwand. Bei sämtlichen Impulsfolgen spielt es beim erfindungsgemäßen Verfahren keine Rolle, ob sie den Mittelwert Null oder einen davon abweichenden Mittelwert aufweisen.

Wie ausgeführt, kann der komplexe Widerstand eine ohmsche mit einer kapazitiven oder eine ohmsche mit einer induktiven Komponente aufweisen. Die Fig. 4 und 5 zeigen die Ersatzschaltbilder. Fig. 4 zeigt einen ohmschen Widerstand und eine Kapazität. Fig. 5 zeigt eine Induktivität und einen ohmschen Widerstand.

Die einzelnen Komponenten R, C und L können sich dabei völlig beliebig und unabhängig voneinander ändern.

Der Sensor und sein komplexer Widerstand lassen sich auch algebraisch beschreiben. Hierbei stellt sich der komplexe Widerstand wie folgt dar:

$Z = \text{Realteil} + j \text{Imaginärteil}$ oder in der Form

$Z = Z(\text{Betrag, Phasenwinkel})$, das heißt explizit
 $Z = Z e^{j\varphi}$.

Der Real- und Imaginärteil beziehungsweise der Betrag und der Phasenwinkel in Abhängigkeit von der Frequenz sind beide eine Funktion des zu erfassenden Zustandes.

Die ohmsche und die kapazitive oder induktive Komponente des Sensors oder dessen Real- und Imaginärteil müssen damit für verschiedene Frequenzen gleichzeitig oder kurz nacheinander erhalten und ausgewertet werden, um die vom Sensor gegebene Information vollständig zu nutzen.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die mindestens eine Frequenzkomponente enthaltende Spannung auf die Reihenschaltung aus dem Sensor und zusätzlichen, im Stromkreis enthaltenen Schaltungselementen gegeben. Sie erzeugt einen Strom, der nach Betrag und Phase vom komplexen Widerstand des Sensors, von dem Widerstand der zusätzlichen Schaltungselemente, von der Spannung des Generators und von der Frequenz abhängt.

Der durch die verschiedenen Schaltungselemente des Stromkreises fließende Strom erzeugt an diesen jeweils einen Spannungsabfall, eine sogenannte Teilspannung. Dies gilt sinngemäß auch für eine Zusammenschaltung mehrerer Schaltungselemente.

Der zeitliche Verlauf der Gesamtspannung, das heißt der vom Generator abgegebenen Spannung, und mindestens der zeitliche Verlauf einer Teilspannung im Stromkreis werden gemessen und getrennt abgespeichert.

Ausgewählt wird dabei möglichst eine Teilspannung über einem Schaltungselement im Stromkreis, dessen Impedanz keine Frequenzabhängigkeit aufweist. Unter Hinzunahme der Gesamtspannung müßte die Berechnung des komplexen Widerstandes des Sensorelementes möglich sein, wenn die Gesamtspannung nur eine einzige Frequenzkomponente enthielte.

Aus dem zeitlichen Verlauf der Gesamtspannung werden über eine Fourieranalyse deren Frequenzkomponenten und die zugehörigen Phasen, vorzugsweise in komplexer Form, ermittelt und wiederum abgespeichert.

Für die zuvor gemessene Teilspannung wird in gleicher Weise verfahren.

Es ergeben sich so jeweils einander zugeordnete Wertepaare bei gleicher Frequenz.

Die Zahl der im Zeitbereich aufgenommenen Meßwerte beider Spannungsverläufe und ihr zeitlicher Abstand richten sich nach den Frequenzen, die in der Gesamtspannung vorhanden sind und für die der komplexe Widerstand des Sensors bestimmt werden soll.

Aus dem Quotienten beziehungsweise der Differenz zugeordneter Wertepaare wird dann der komplexe Widerstand des Sensors bei der entsprechenden Frequenz errechnet. Der Verlauf dieses Widerstandes über der Frequenz ändert sich in Abhängigkeit des zu messenden Zustandes. Eine Änderung des Frequenzverlaufs des komplexen Widerstandes bedeutet daher, daß sich auch der zugrundeliegende Zustand gegenüber seinem Ausgangszustand geändert haben muß.

Zur Vereinfachung der Beschreibung sollen die mit dem komplexen Widerstand des Sensors in Reihe liegenden Schaltungselemente als Vorwiderstand angesehen werden. In Abhängigkeit von der Lage des komplexen Widerstandes in dieser Reihenschaltung bildet dieser letztere einen Tief- oder einen Hochpaß. Die zuge-

hörigen Ersatzschaltbilder sind in den Fig. 6 und 7 dargestellt.

Es sei nun einmal angenommen, daß der Generator eine Spannung mit dem Frequenzspektrum F1 abgibt. Dieses Frequenzspektrum F1 wird vom komplexen Widerstand des Sensors verändert. Am folgenden Beispiel sei dies erläutert.

Gibt der Generator ein Signal mit dem Frequenzspektrum F1 ab, erscheint am Ausgang über dem Sensor ein Signal mit verändertem Frequenzspektrum F2, sofern die Komponenten in der Schaltung gemäß den Fig. 6 oder 7 einigermaßen günstig gewählt werden. Aus den Änderungen des Spektrums F2 gegenüber dem Spektrum F1 können die Größen der elektrischen Ersatzschaltung des Sensors und deren Frequenzabhängigkeit gemäß den Fig. 4 und 5 eindeutig bestimmt werden. Da auf die Beziehungen zwischen den einzelnen Frequenzkomponenten aus F1 und F2 zurückgegriffen wird, läßt sich das Spektrum F2 unabhängig von jeder Verstärkung bewerten.

Sollen die Komponenten eines komplexen Widerstandes eines Sensors nach diesem Verfahren bestimmt werden, wird als erstes das Frequenzspektrum der Gesamtspannung nach Betrag und Phase bestimmt. Bei günstig gewählten zeitlichen Voraussetzungen kann dies on-line mit Hilfe eines Signalprozessors oder bei weniger kritischen zeitlichen Bedingungen sogar mit einem Mikrorechner nach dem Verfahren der FFT (Fast Fourier Transformation) erfolgen.

Wird der Sensor dann weiterhin mit unveränderter Gesamtspannung betrieben, wird deren über dem Vorwiderstand liegende Teil wieder nach Betrag und Phase bestimmt. Aus den sich ergebenden Unterschieden in den einander entsprechenden Frequenzkomponenten nach Betrag und Phase lassen sich die aktuellen Komponenten der elektrischen Ersatzschaltung des Sensors entweder über eine Berechnung oder aber über Zuordnungstabellen ermitteln. Diesen Komponenten kann dann eindeutig der physikalische Meßwert der erfaßten Größe zugeordnet werden.

Hierzu müssen bei stationärer, am Eingang der Schaltung anliegender Gesamtspannung während dieser Erregung die Frequenzkomponenten der Spannung am Vorwiderstand ermittelt und für eine bestimmte Zeit gespeichert werden, um später einen Vergleich durchführen und Änderungen feststellen zu können. Gleiches gilt für die Phasenwinkel der Frequenzkomponenten. Alternativ kann auch der zeitliche Verlauf der Spannung am Vorwiderstand gespeichert werden. Zu einem späteren Zeitpunkt werden dann die Frequenzkomponenten der beteiligten Spannungen ermittelt.

Das für die Berechnung der Komponenten des Sensors angewandte Verfahren wird in der folgenden alternativen Betrachtung besonders anschaulich:

Die Gesamtspannung oder das Ansteuersignal für den Sensor enthält genau definierte Spannungskomponenten verschiedener Frequenzen. Die Komponenten der verschiedenen Frequenzen beeinflussen sich nicht gegenseitig. Das heißt, bei der Betrachtung des Ergebnisses kann man so tun, als würden die Spannungen verschiedener Frequenzen und Phasenwinkel einzeln nacheinander an den Hoch- bzw. Tiefpaß mit seriellem ohmschen Widerstand angelegt.

Jede dieser Spannungen wird abhängig von ihrer Frequenz und insgesamt abhängig von der Grenzfrequenz des Passes eine andere Dämpfung erfahren. Die jeweils gültige Dämpfung ergibt sich dabei aus dem Übertragungsverhalten des einfachen Hoch- beziehungsweise

Tiefpasses erster Ordnung. Dies ist in Fig. 8 dargestellt. Aus den Dämpfungsverhältnissen von angelegter Spannung zu übertragener Spannung einer Frequenz läßt sich ohne weiteres auf die Komponenten der Schaltung, in diesem Fall also auf die des Sensors, zurückrechnen.

Eine ganz ähnliche Betrachtung gilt auch für die Phasenwinkel, unter denen die Spannungskomponenten auftreten. Auch hier tritt zwischen dem Phasenwinkel der eingangs- und dem der entsprechenden ausgangseitigen Spannungskomponente ein Phasenunterschied auf. Auch dieser wird zur Berechnung herangezogen, um die volle Information aus dem System herauszuziehen.

Jede Frequenzkomponente der Spannung am Ausgang des Sensors läßt die vollständige Bestimmung der Komponenten seiner elektrischen Ersatzschaltung zu, wenn auch der Phasenwinkel und die anregende Spannung dieser Frequenzkomponente herangezogen werden. Da nun die Elemente der Ersatzschaltung des Sensors bei jeder Frequenzkomponente der anregenden Spannung bestimmt werden können, läßt sich auf diese Weise die Frequenzabhängigkeit der Elemente der Sensor-Ersatzschaltung bestimmen. Der Frequenzbereich, in dem diese Bestimmung möglich ist, ergibt sich im wesentlichen aus den Frequenzkomponenten, aus denen sich die anregende Spannung zusammensetzt. Diese sollte also entsprechend den Erfordernissen gezielt gewählt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Fernmessen von Zuständen an einem abgelegenen Ort unter Verwendung mindestens eines an diesem Ort angeordneten Sensors in Form eines komplexen Widerstandes und mit diesem in Reihe liegenden Schaltungselementen beliebiger Art mit Beaufschlagen dieser aus dem Sensor und den Schaltungselementen bestehenden Reihenschaltung mit einer mindestens eine Frequenzkomponente enthaltenden Spannung, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Intensitätsverteilung von Frequenzkomponenten der Gesamtspannung an der Reihenschaltung aus Sensor und Schaltungselementen und die Intensitätsverteilung der gleichen Frequenzkomponenten der Teilspannung an den Schaltungselementen nach Betrag und Phase ermittelt und beide Intensitätsverteilungen der Frequenzkomponenten und Phasen getrennt abgespeichert werden, der Quotient oder die Differenz der getrennt abgespeicherten komplexen Frequenzkomponenten (Beträge und Phasen) gebildet und hieraus der komplexe Widerstand des Sensors bei den verschiedenen beteiligten Frequenzen errechnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Reihenschaltung aus Sensor und Schaltungselementen in zeitlicher Aufeinanderfolge mit verschiedenen Frequenzen beaufschlagt und seine Frequenzabhängigkeit aus den abgespeicherten Werten errechnet wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensitäts- und Phasenfunktion der abgespeicherten Frequenzkomponenten über der Frequenz in ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge nochmals über FFT (Fast Fourier Transformation) frequenz- und phasenbewertet werden und aus den dabei entstehenden Frequenzen und Phasen, vorzugsweise aus den sehr tiefen

Frequenzen, die Änderung des komplexen Widerstands errechnet wird.

4. Schaltungsanordnung zum Durchführen des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor ein Plattenkondensator mit einem mit einer dielektrischen Flüssigkeit gefülltes Gehäuse ist. 5

5. Schaltungsanordnung zum Durchführen des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor durch an oder in dem Sitz eines Kraftfahrzeuges angeordnete und einen Kondensator bildende leitende Elemente gebildet wird. 10

6. Schaltungsanordnung zum Durchführen des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor ein Beschleunigungsgeber ist. 15

7. Schaltungsanordnung zum Durchführen des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor eine Anordnung aus Dehnungsmeßstreifen umfaßt. 20

8. Schaltungsanordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Kondensator mit einer gemeinsamen mittleren Elektrode als Differenzkondensator ausgebildet ist. 25

9. Schaltungsanordnung zum Durchführen des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor durch ein oder mehrere an der Innenwand des Fahrgastraumes eines Kraftfahrzeuges angeordnete und einen Kondensator bildende leitende Elemente gebildet wird, wobei der Fahrgastraum das Dielektrikum darstellt. 30

10. Schaltungsanordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß Teile der Karosserie und/oder der Sitze des Kraftfahrzeuges ganz oder teilweise den Kondensator bilden. 35

11. Schaltungsanordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß Kapazität und Verlustwiderstand des Plattenkondensators von der Beschleunigung des ihn umgebenden Gehäuses abhängig sind. 40

12. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Differenzkondensator ein luftdichtes Gehäuse aufweist und die gemeinsame mittlere Elektrode auf ihrer einen Seite dem statischen Druck einer Flüssigkeitssäule und auf ihrer anderen Seite der Atmosphäre ausgesetzt ist. 45

13. Schaltungsanordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die mittlere Elektrode auf ihrer einen Seite dem statischen Druck am Boden eines Kraftfahrzeugtanks ausgesetzt ist. 50

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

- Leerseite -



Fig. 1

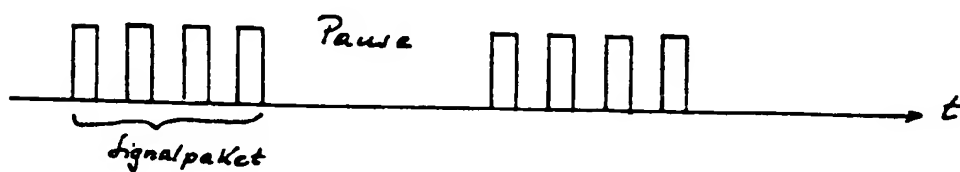


Fig. 2



Fig. 3

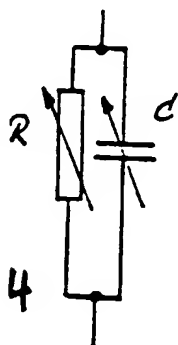


Fig. 4

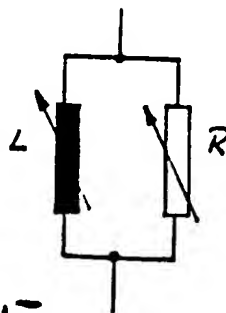


Fig. 5

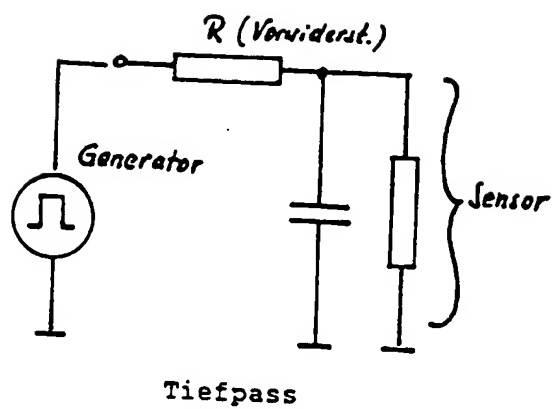


Fig. 6

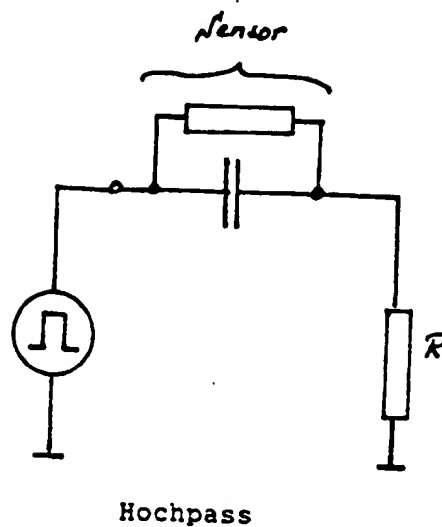


Fig. 7

